

Neue Wege in der Hochschulmathe- matik – Das Projekt SAiL-M

Christine Bescherer**, Christian Spannagel*,
Marc Zimmermann**

*Pädagogische Hochschule Heidelberg

**Pädagogische Hochschule Ludwigsburg

Kurzfassung: Vorlesungen in Mathematik und Informatik sind vor allem in den Anfangssemestern eines Studiums Massenveranstaltungen. Bis zu 2500 Studierende sitzen mindestens einmal in der Woche in einem vollen Vorlesungssaal und hören den Vortrag des Dozenten / der Dozentin. Begleitend gibt es meistens am Ende der Woche eine Übung oder ein Tutorium, in denen in Gruppen von ca. 30 Studierenden Lösungen zu Übungsaufgaben von einem Tutor oder den Studierenden selbst präsentiert werden. Insgesamt ist dies ein Szenario, das nur gering mit heutigen Lerntheorien begründet werden kann, in denen vor allem das individuelle Lernen betont wird. Dieser Beitrag stellt das Projekt SAiL-M¹ vor, in dem versucht wird trotz der hohen Teilnehmerzahlen ein individuelles Lernen in der Hochschule zu ermöglichen und umzusetzen.

1 Vorlesungen – der Klassiker

Mathematik ist neben den Diplom- und Lehramtsstudiengängen ein wesentlicher Bestandteil vieler Studiengänge an Hochschulen, z. B. in den

¹ SAiL-M: Semiautomatische Analyse individueller Lernprozesse in der Mathematik; www.sail-m.de

Wirtschaftswissenschaften, der Medizin, den Ingenieurwissenschaften oder der Informatik. Nicht zuletzt sind in den Einführungsveranstaltungen in Mathematik zu Studiumsbeginn bis zu 2500 Studierende². Zur Vermittlung der Inhalte wird weitgehend auf klassische Vorlesungen durch Instruktion mit begleitenden Übungen gesetzt. Diese haben jedoch ebenfalls einen Instruktionscharakter, bei dem „fertige“ Musterlösungen präsentiert werden (Beutelsbacher & Danckwerts, 2005; Holton 2001).

Unter diesen institutionellen Bedingungen konzentriert sich die Lehre in Mathematik in erster Linie auf die Vermittlung von Techniken und auf die Produkte der Lernenden. Mathematikdidaktische Ansätze und konstruktivistische Lerntheorien betonen aber vor allem auch den Aufbau eines mathematischen Verständnisses und allgemeiner mathematischer Kompetenzen wie Problemlösen, Argumentieren und Kommunizieren (Beutelsbacher & Danckwerts, 2004; KMK, 2003; OMCD, 2003; NCTM, 2000). Es sind vor allem die Lernprozesse, also wie der / die Lernende zu einem Ergebnis kommt, wichtig und diese müssen angeregt und unterstützt werden. Dieser Forderung ist in Einführungsveranstaltungen in Mathematik mit großen Teilnehmerzahlen allerdings nur schwer nachzukommen, da eine Begleitung der Lernprozesse eine intensive Betreuung der Personen voraussetzt.

Aufgrund der gegebenen institutionellen Bedingungen ist eine andere Form der Vermittlung der Inhalte als die der Vorlesung nur schwer vorstellbar. Die Vorlesung bietet einen guten Kompromiss, der zum einen die große Teilnehmerzahl organisieren als auch das ausgewiesene Curriculum relativ einfach umsetzen lässt. Die Aktivität seitens der Studierenden ist allerdings relativ gering und besteht hauptsächlich in der Rezeption der Informationen, sowohl in der Vorlesung als auch in den Übungen. Auch die kaum vorhandene Betreuung von Lernprozessen wird dabei in Kauf genommen. Im Folgenden wird jedoch aufgezeigt, dass dieses nicht so sein muss, trotz der institutionellen Voraussetzungen.

2 Das Projekt SAiL-M

Im Oktober 2008 wurde das Projekt SAiL-M im Forschungsprogramm „Zukunftswerkstatt Hochschullehre - Hochschulforschung als Beitrag zur

² Anzahl an Studierenden im Wintersemester 2010/11 in der Veranstaltung „Analysis 1“ an der TU Berlin.

Professionalisierung der Hochschullehre“ des BMBF gestartet. Insgesamt sind an dem Verbundprojekt die Pädagogischen Hochschulen in Ludwigsburg, Karlsruhe (ehem. Schwäbisch Gmünd) und Weingarten sowie die RWTH Aachen beteiligt.

Das Projekt beschäftigt sich mit der Fragestellung, inwieweit Mathematikveranstaltungen an Hochschulen mit großen Teilnehmerzahlen dennoch aktivierend und lernprozessbegleitend realisiert werden können, ohne das dies einen personellen oder finanziellen Mehraufwand für die Hochschule bedeutet. Es werden:

- didaktische Beschreibungsmuster für aktivierende, kompetenzorientierte Umgebungen zum Mathematiklernen in der Hochschule formuliert, implementiert und für andere nutzbar gemacht,
- Werkzeuge für die Bewertung von Lernprozessen – d.h. Werkzeuge für deren Dokumentation und Messinstrumente für deren Analyse – adaptiert und in diesen Lernkontexten bereitgestellt und
- die Wirksamkeit der entwickelten Modelle zu Lehr-/Lernszenarien und der Nutzen prozessbezogener Rückmeldungen mit verschiedenen Diagnosemethoden evaluiert.

Die Analyse von mathematischen Lernprozessen lässt sich ohne spezielle technische Hilfsmittel nicht bewältigen, insbesondere in Lehrveranstaltungen mit großen Teilnehmerzahlen. Daher werden diesbezüglich technische Werkzeuge entwickelt, die die Dokumentation und Analyse von Lernprozessen übernehmen. Die Besonderheit bei diesen computerbasierten Werkzeugen ist die Grundidee der semi-automatischen Analyse (Bescherer, Herding, Kortenkamp, Müller & Zimmermann, 2011; Bescherer, Kortenkamp, Müller & Spannagel, 2010). Der Computer identifiziert die Standardlösungen und die Standardfehler und gibt dazu eine direkte Rückmeldung. Alle Nicht-Standardlösungen und -fehler werden an Menschen (Tutoren, Dozenten,...) weitergeleitet, die dann ein individuelles Feedback geben. Dadurch ist es möglich, auch eine große Anzahl an Teilnehmern individuell beim Lernen zu begleiten.

Im Folgenden werden das im Projekt entwickelte Konzept für aktivierendes Lernen und die dazugehörigen theoretischen Grundlagen sowie die entwickelten Tools für das semiautomatische Assessment vorgestellt.

3 Das Konzept von SAiL-M

Ausgehend von theoretischen Grundlagen und der jahrzehntelangen Erfahrung in der Durchführung und Konzeption von Mathematikveranstaltungen werden im Projekt SAiL-M Maßnahmen für die Verbesserung der Lehr-/Lernqualität entwickelt. Die Maßnahmen betreffen alle Teile einer Veranstaltung im Semester, also die Vorlesung an sich, die dazu begleitenden Übungen, die abschließende Prüfung, sowie weitere Unterstützungsangebote, die angeboten werden können. Im Folgenden werden die einzelnen Maßnahmen explizit erläutert. Genauere, ausführlichere Beschreibungen immer wiederkehrender Muster sind in Form didaktischer Design Patterns beschrieben und auf der Internetseite www.sail-m.de zu finden (vgl. auch Bescherer & Spannagel, 2009). Es wird an den entsprechenden Stellen darauf verwiesen. Einen Überblick über die Vielfalt der Maßnahmen und das Zusammenwirken verschiedener Komponenten bietet Abb. 1.

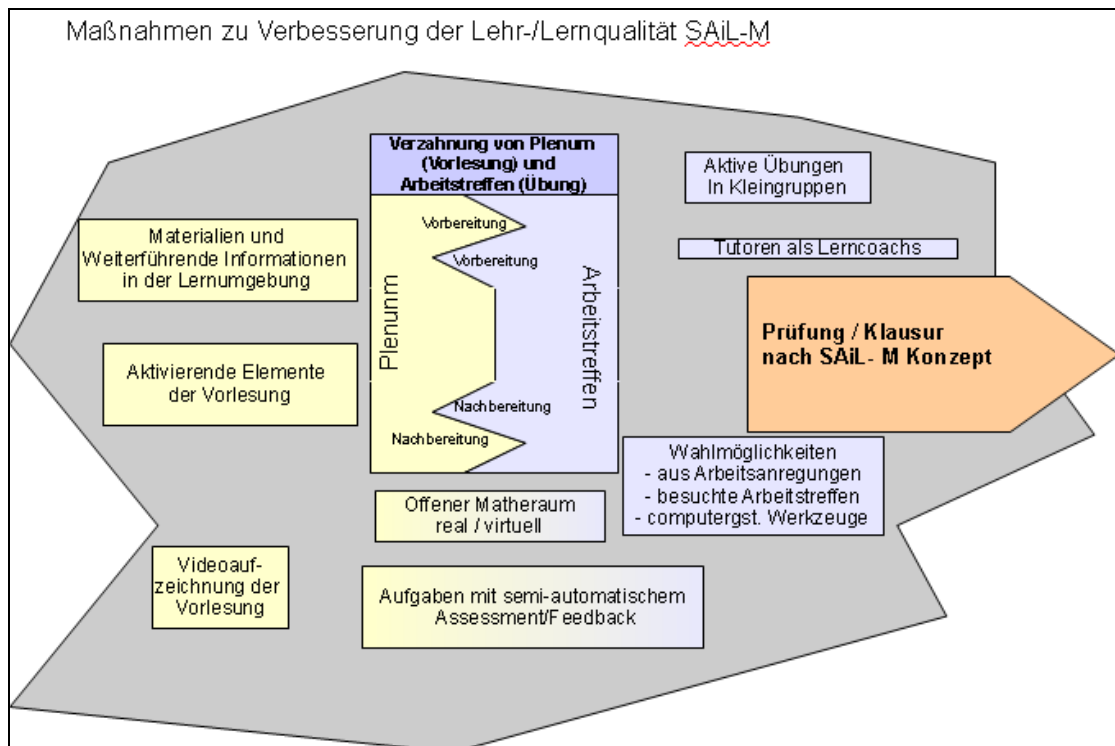


Abb. 1: Maßnahmen zur Verbesserung der Lehr-/Lernqualität

3.1 Grundphilosophie des Konzeptes

Wichtige Eckpunkte des Konzeptes sind zum einen die Umgestaltung von Vorlesung und begleitende Übungen sowie deren Verzahnung, so dass ein Lernen nach den Grundkategorien mathematischen Lernens (Zimmermann & Bescherer, 2011a) gewährleistet werden kann. Dies bedeutet, dass es zum einen, wie bisher üblich, Übungsaufgaben gibt, die die Inhalte und den Stoff der jeweiligen Veranstaltung nachbereiten. Zum anderen gibt es auch Übungen, die auf die kommenden Veranstaltungen vorbereiten. Diese Aufgaben werden dann wieder in der Vorlesung aufgegriffen und dadurch neue Erkenntnisse erarbeitet.

Zum anderen verfolgt das Konzept konsequent ein sogenanntes „on demand“-Prinzip, d. h. die Lernenden bekommen Feedback oder Hilfe dann, wenn sie es anfordern. Dies bedeutet z. B., dass Tutorinnen und Tutoren nicht Lösungen vorrechnen, bevor die Studierenden die Aufgaben erstmals gelesen haben, sondern erst auf konkrete Nachfragen der Studierenden, die gerade die Aufgabe bearbeiten, unterstützend eingreifen. Ebenso bieten die computergestützten Werkzeuge zum semi-automatischen Assessment automatische Hilfe erst an, wenn dies die Studierenden erwünschen und nicht sobald ein Fehler gemacht wird. Weiter können die Studierenden auch ein individuelles Feedback oder Hilfen über E-Mail von Tutoren verlangen. Dies ist eine der Grundideen des semi-automatischen Assessments. Hierbei soll Rückmeldung lediglich zu Standardlösungen und Standardfehlern automatisiert durch das Computerwerkzeug erfolgen. Alle Lösungen und Fehler, die auf diese Weise nicht erkannt werden können, werden an den menschlichen Betreuer zur Begutachtung weitergeleitet. Informations- und Kommunikationstechnologie wird im Rahmen des Projekt SAiL-M, wann immer es sinnvoll ist, eingesetzt. Dies umfasst die Verwendung von Software wie Tabellenkalkulation oder dynamischen Geometriesystemen, die umfangreiche Nutzung der Lernplattform Moodle oder die Bereitstellung von Vorlesungsaufzeichnungen als Video. Hierbei steht den Studierenden es wieder frei, ob sie diese Programme und Technologien benutzen oder nicht.

Zusätzlich werden die Veranstaltungen durch viele niederschwellige Unterstützungsmaßnahmen begleitet. Durch die große Heterogenität der Studierenden muss es auch bei einer individualisierten Unterstützung der Mathematiklernprozesse eine Heterogenität von Unterstützungs- und Lernmaß-

nahmen geben. Muss bei manchen Studierenden das (Vor-)Wissen aktiviert, aufgefrischt und eventuell ergänzt werden, z.B. bei Studierenden, die das Studium auf dem zweiten Bildungsweg beginnen, ist dies bei anderen Studierenden, z. B. wenn sie direkt von der Schule kommen, nicht in diesem Maße der Fall. Ein anderes Beispiel ist das unterschiedliche Arbeiten der Studierenden an offenen problemorientierten Aufgabenstellungen in der Gruppe. Während einige Studierende evtl. aus der Schule oder dem Umfeld dieses Arbeiten bereits gewohnt sind, benötigen andere weitere Anreize, bevor sie überhaupt eine Chance haben die relativ offenen Aufgaben zu bearbeiten. Dabei muss häufig erst der Bedarf deutlich gemacht werden, indem z. B. Aufgaben gestellt werden, in denen bestimmte „alte“ Techniken und Verfahren für die Lösung benötigt werden. Ein Beispiel dafür sind der sinnvolle Umgang mit dem Taschenrechner oder geometrische Grundkonstruktionen in der Geometrie. Andere Studierende, die diese Grundtechniken beherrschen, benötigen vielleicht Unterstützung beim Einstieg in eine offene Problemlöseaufgabe, da sie nicht gewohnt sind, sich Fragestellungen durch „Probieren“ zu erarbeiten. Hier könnte ein geeigneter Hinweis im passenden Moment durch einen Betreuer in der Übungsgruppe helfen.

In diesen Fällen spielt auch das Konzept der (mathematischen) Selbstwirksamkeit eine Rolle (Bandura, 1998), welche das Zutrauen einer Person in die eigene Fähigkeit beschreibt, (mathematische) Handlungen erfolgreich auszuführen. Eine niedrige mathematische Selbstwirksamkeitserwartung hat zur Folge, dass Studierende sich oft nicht an eine Aufgabe wagen, die ihnen auf den ersten Blick nicht bekannt vorkommt, oder deren Lösungsweg nicht sofort ersichtlich ist. Diese Studierenden benötigen dann etwas mehr Betreuung, in der die mathematische Selbstwirksamkeit dieser Studierenden durch verschiedene Maßnahmen wie kommentiertes „Vormachen“ befördert wird. In SAiL-M geschieht dies z. B. durch geschulte Tutorinnen und Tutoren in den Übungen oder auch an einzelnen Stellen in der Vorlesung durch Studierende, die an der Tafel ihren Lösungsweg zeigen. Wird eine Lösung von Studierenden präsentiert, hat dies eine höhere Wirkung auf Studierende mit niedriger Selbstwirksamkeit, da Studierende sich im Allgemeinen nicht mit der Expertise von Hochschullehrenden identifizieren. Dagegen empfinden Studierende mit hoher mathematischer Selbstwirksamkeitserwartung dies stattdessen als Verhinderung ihres eigenen explorativen Lernens, sofern sie noch keine Lösung haben.

Das Lernen wird auch immer von der Motivation des Individuums beeinflusst (Deci & Ryan, 2002; 1993), d.h. Personen sind eher bereit sich langfristig und intensiv mit einer Aufgabe zu beschäftigen, je mehr sie „von innen“ motiviert sind. Solch eine intrinsische Motivation ist in einer Veranstaltung, an deren Ende eine 90-minütige Klausur steht und die von Studierenden pflichtmäßig belegt werden muss, kaum zu erreichen. Studien (Deci & Ryan, 1993) haben aber gezeigt, dass selbstbestimmte Formen der Motivation durch Autonomie, soziale Eingebundenheit und der eigenen Kompetenzwahrnehmung gefördert werden können. Durch verschiedene Maßnahmen wie Wahlfreiheit bei Aufgaben sowohl in den Übungen wie auch der Klausur sowie der Wahl des Lernorts (zu Hause, in den Gruppenübungen oder im offenen Matheraum) oder der Lernzeit (es muss keine bestimmte Übungsgruppe besucht werden, es können auch mehrere Termine in Anspruch genommen werden) kann die wahrgenommene Autonomie gestärkt werden. Sozialen Eingebundenheit und Kompetenzerleben der Studierenden wird durch kleinere oder größere Lerngruppen oder auch durch das Präsentieren eigener, ungewöhnlicher Lösungswege gefördert.

Manche Komponenten hängen eng mit anderen zusammen, andere sind eher grundlegende bzw. isolierte Bausteine. So können z. B. die aktivierenden Elemente in der Vorlesung oder den Übungen völlig unabhängig von allen anderen Maßnahmen eingesetzt werden. Dagegen ist die starke Gewichtung der Erklärung und Beschreibung von Lösungswegen in der Klausur nur sinnvoll, wenn dies durchgehend in den Veranstaltungen gefordert und thematisiert wird. Im Idealfall sind jedoch Vorlesungen und Übungen dabei so aufeinander abgestimmt, dass ein Lernen nach den Grundkategorien mathematischen Lernens gewährleistet werden kann. Bei der Beschreibung der Bausteine der Konzeption im Folgenden lösen wir uns von den Begriffen „Vorlesung“ und „Übung“, weil deren ursprüngliche Bedeutung im SAiL-M-Kontext irreführend ist. Stattdessen verwenden wir die Begriffe „Plenum“ und „Arbeitstreffen“. Mit „Plenum“ wird die wöchentliche Veranstaltung im Hörsaal bezeichnet, mit „Arbeitstreffen“ die von Tutoren („Coaches“) geleiteten wöchentlichen Treffen in Kleingruppen. In den nächsten Abschnitten werden nun die einzelnen Veranstaltungsteile im Detail beschrieben.

3.2 Das Plenum

Das Plenum unterscheidet sich von der klassischen Vorlesung dadurch, dass hier nicht die methodische Monokultur des Vortrags übernommen wird. Stattdessen wechseln sich Vorträge und andere Methoden (beispielsweise Diskussionsrunden) ab. Welche Methode im Plenum gewählt wird, hängt unter anderem von den Lerninhalten und den intendierten Lernzielen ab (vgl. *Grundkategorien mathematischen Lernens*; Zimmermann & Bescherer, 2011a).

Vorträge werden im Plenum z. B. dann eingesetzt, wenn Verfahren vorgeführt und Prozesse modelliert werden sollen (vgl. *Cognitive Apprenticeship*, Collins, Brown & Newman, 1989; *prozessorientierte Lösungsbeispiele*, van Gog, Paas & van Merriënboer, 2008; *Lernen am Modell*, Bandura, 2001). Dabei sind die Vortragsteile des Plenums mit den studentischen Aktivitäten in den Arbeitstreffen verschränkt. Wird beispielsweise in einem Modellierungsvortrag eine Beweisstrategie vorgeführt, dann haben die Studierenden im Arbeitstreffen die Aufgabe, diese Strategie anhand ähnlicher Probleme zu üben. Vorerfahrungs-Aktivitäten in den Arbeitstreffen werden darüber hinaus in dem darauf folgenden Plenum aufgegriffen und mit den Studierenden besprochen.

An verschiedenen Standorten (Ludwigsburg, Heidelberg) werden verschiedene Verfahren zur Vortragsaufzeichnung erprobt. In Ludwigsburg werden die Vorlesungen „Einführung in die Arithmetik“, „Einführung in die Mathematikdidaktik“ und „Einführung in die Geometrie“ mit Hilfe des Videoaufzeichnungssystems Lecturnity aufgenommen und online zur Verfügung gestellt (vgl. Zimmermann, Jokiahho & May, 2011). In diesem System werden sowohl die Powerpoint-Folien als auch die Dozentin / der Dozent synchron aufgezeichnet. Die Folien können dann beim Abspielen als Index dienen, mit dessen Hilfe man bestimmte Plenumssequenzen wiedergeben kann. Die Plenumsaufzeichnungen werden im E-Learning-System Moodle den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Veranstaltung zur Verfügung gestellt. In Heidelberg wird die Vorlesung „Einführung in die Arithmetik“ aufgezeichnet. Da hier als Vortragsmedium die Tafel verwendet wird, wird kein Werkzeug zum Aufzeichnen von Folienvorträgen verwendet. Stattdessen zeichnet eine studentische Hilfskraft die Plenumsitzungen per Video auf, schneidet diese anschließend in kurze Vortragssequenzen und lädt diese auf Youtube hoch (Fischer, Werner, Strübig & Spannagel, 2012). Damit

stehen die Vortragsteile nicht nur den Vorlesungsteilnehmern, sondern auch interessierten Lernenden außerhalb der Hochschule zur Verfügung.

Videoaufzeichnungen werden unter anderem von Studierenden geschätzt, die aus unterschiedlichen Gründen nicht an der Plenumsitzung teilnehmen können (z.B. wegen einer Krankheit oder Kinderbetreuung). Darüber hinaus können Vortragsaufzeichnungen in folgenden Semestern dazu dienen, Vortragsanteile in Plenumsitzungen zu reduzieren: Studierende betrachten sich in Vorbereitung auf eine Plenumsitzung ein Video aus einem früheren Semester. Die Plenumsitzung kann dann dazu dienen, Inhalte vertieft aufzugreifen oder Aspekte des Videos gemeinsam mit den Studierenden zu diskutieren (vgl. *inverted classroom* oder *flipped classroom*; Lage, Platt & Treglia, 2000).

In Plenumsitzungen wechseln sich Vortragsphasen mit Aktivitätsphasen ab.³ Hierfür gibt es vielfältige methodische Möglichkeiten. So bearbeiten Studierende beispielsweise Aufgaben zunächst in Einzelarbeit bzw. gemeinsam mit dem Sitznachbarn, um die Lösungen dann anschließend im Plenum gemeinsam zu besprechen (Methode Think – Pair – Share). Eine andere Möglichkeit ist, zu Beginn einer Plenumsitzung Leitfragen zu stellen, welche von den Studierenden hinsichtlich eines Texts, der für die Plenumsitzung vorzubereiten war, beantwortet werden sollen (z. B. „Welche Gedanken kenne ich schon?“ – „Welche Gedanken sind mir neu?“ – „An welchen Stellen würde ich widersprechen?“ ...).

Eine weitere Methode ist das „Aktive Plenum“ (Spannagel, 2011). Hier übernehmen Studierende die Rolle des Dozenten an der Tafel, während der Dozent sich nach hinten in den Vorlesungsraum setzt. Die Studierenden bekommen – als Gesamtgruppe – zunächst eine Aufgabe gestellt. Die Aufgabe der Studierenden an der Tafel ist es „lediglich“, die vom Plenum genannten Aspekte anzuschreiben bzw. weitere Meldungen aus dem Plenum aufzunehmen. Die Gesamtgruppe löst hier gemeinsam ein Problem und wird dabei von Studierenden moderiert. Der Dozent verfolgt die Sitzung und schreitet bei Bedarf ein.

³ Mit Aktivitätsphasen werden Phasen bezeichnet, in denen Studierende aktivere Rollen zugesprochen werden als die des Zuhörers und in denen sie Zeit bekommen, selbst Dinge zu durchdenken und zu besprechen. Mit dem Begriff soll *nicht* gemeint sein, dass Studierende während Vorlesungsphasen inaktiv sind – auch hier können und sollten sie (kognitiv) aktiv sein.

3.3 Die Arbeitstreffen

Die Arbeitstreffen sind ein ganz wichtiges Element im Lernprozess, weil hier die Möglichkeit besteht, in kleinen Gruppen die Studierenden bei ihren Arbeitsprozessen zu unterstützen und Feedback zu geben. Bei den Arbeitstreffen handelt es sich nicht – wie oft üblich – um Vorrechenübungen, in denen der Tutor (Coach) die Lösungen der Aufgaben auf dem Arbeitsblatt präsentiert. Hierdurch kann die „Illusion des Verstehens“ entstehen: Studierende vollziehen den Lösungsweg nach und denken, sie hätten ihn verstanden – können ihn dann aber letztlich selbst nicht bei ähnlichen Aufgaben durchführen. Außerdem kann dabei der Effekt entstehen, dass Studierende mit niedriger mathematischer Selbstwirksamkeitserwartung den Eindruck haben, dass das Problem zwar lösbar ist, aber nur von Personen mit höherer mathematischer Kompetenz.

Die Aufgaben für die Arbeitstreffen sind dabei auf die Grundkategorien mathematischen Lernens ausgerichtet, d.h. es gibt Aufgaben, welche die vorangegangene Veranstaltung nachbereiten aber auch solche, welche die kommende Veranstaltung der Folgeweche vorbereiten. Die Studierenden bekommen für jede Woche insgesamt drei Übungsblätter mit sogenannten Arbeitsanregungen. Das erste Übungsblatt („Vertiefung“) enthält Arbeitsanregungen um die Inhalte der vorangegangenen Vorlesung zu vertiefen. Dies können Aufgaben für das vertiefte Üben aber auch darüber hinaus sein. Das zweite Übungsblatt („Methode/Technik“) enthält Arbeitsanregungen, die v. a. dazu dienen mathematische Methoden zu üben und zu festigen. Arbeitsanregungen, die auf die kommende Veranstaltung vorbereiten, sind auf einem dritten Übungsblatt zu finden. Diese sind nicht hauptsächlich Bestandteil eines Arbeitstreffens, da die Studierenden hier Erfahrungen sammeln oder bereits vorhandenes Wissen aktivieren sollen. Diese werden dann in der folgenden Veranstaltung aufgegriffen.

In den Arbeitstreffen ist die Eigenaktivität der Studierenden wesentliches Element. Die Studierenden sitzen in kleinen Lerngruppen (ca. 4 Personen) beisammen und lösen Aufgaben, während die Aufgabe des Coachs zunächst einmal darin besteht, anwesend zu sein. Die Studierenden sollten sich von jedem der drei Übungsblätter mit jeweils mindestens der Hälfte der Arbeitsanregungen beschäftigen, dies sind pro Woche drei bis fünf Arbeitsanregungen. Wenn Studierende Fragen haben oder bei einer Lösung nicht weiterkommen, dann haben sie die Möglichkeit, den Coach anzuspre-

chen (HELP ON DEMAND; Bescherer & Spannagel, 2009). Dieser ist angehalten, Antworten nach dem Prinzip der minimalen Hilfe und informatives Feedback zu geben (FEEDBACK ON DEMAND; ebd.).

Auf den Arbeitsanregungen sind zusätzlich zu den Aufgaben auch Hinweise für Lern- und Bearbeitungsstrategien enthalten. Dabei wird auch auf möglichen Werkzeuggebrauch hingewiesen, insbesondere auch auf den Gebrauch des Computers (Tabellenkalkulation, dynamische Geometrie, Internetrecherche...). Die Studierenden sind angehalten, Laptops mit zu den Arbeitstreffen zu nehmen, damit diese die Technologie bei Bedarf einsetzen können (TECHNOLOGY ON DEMAND; ebd.).

Die studentischen Lerngruppen können beliebig oft zu Arbeitstreffen innerhalb einer Woche gehen, es gibt keine feste Zuteilung von Lerngruppen zu Arbeitstreffen.

Die Studierenden erhalten zu keinem Zeitpunkt „Musterlösungen“. Dies erzeugt die Notwendigkeit, dass man sich wirklich eigenständig mit den Aufgaben auseinandersetzt und nicht warten kann, bis die Musterlösungen veröffentlicht sind.

Dieses Konzept entspricht den Forderungen der Theorie der Selbstbestimmung, die drei Bedürfnisse Autonomie, Kompetenz und soziale Eingebundenheit zu fördern: Die Studierenden können aus verschiedenen Arbeitsanregungen wählen, außerdem können sie sich entscheiden, zu welchen Arbeitstreffen sie gehen (Autonomie). Das Konzept führt außerdem dazu, dass die Studierenden sich selbst mit den Aufgaben auseinandersetzen müssen – niemand gibt ihnen Lösungen vor. So ist die Basis dafür geschaffen, dass sie an der Bearbeitung der Aufgaben neue Kompetenzen entwickeln und sich selbst durch das erfolgreiche Lösen von Aufgaben auch als kompetent erleben (Kompetenz). Wesentlich sind dabei adäquates Feedback und zahlreiche Unterstützungsangebote, damit die Gefahr gemindert wird, dass Studierende frühzeitig aufgeben und dadurch der gegenteilige Effekt erzeugt wird. Außerdem findet das Lernen in sozialen Kontexten statt (Lerngruppe; andere Lerngruppen auf der Arbeitstreffen; Coach; soziale Eingebundenheit).

3.4 Prüfung

Aus der Schulpolitik ist bekannt, dass sich Änderungen im Curriculum oder den Lehr-/Lernkonzepten nur dann durchsetzen, wenn sie durch Änderungen in den Prüfungen berücksichtigt werden. Wenn z. B. gewünscht wird, dass programmierbare Taschenrechner von den Lernenden verwendet werden, so dürfen sie auf keinen Fall in der Prüfung verboten werden. Analog werden die Klausuren, die im Rahmen der SAiL-M Veranstaltungen gestellt werden, an die Überlegungen und Maßnahmen angepasst.⁴

Im Sinne der Fortsetzung der Autonomieerfahrung – und da aufgrund der Wahlmöglichkeiten bei den Aufgaben der Arbeitsanregungen auch nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle Studierenden jede Aufgabe bearbeitet haben – können die Studierenden auch in der Klausur Aufgaben auswählen. Die Klausuren in den Modulen 1 und 2 sollen jeweils neben den fachmathematischen Inhalten zu einem Drittel die mathematikdidaktischen Inhalte der entsprechenden Vorlesung umfassen, deshalb wird folgendes Auswahlmodell angeboten: Insgesamt stehen zehn einigermaßen gleichwertige Aufgaben zur Verfügung, davon sind drei Aufgaben aus der Mathematikdidaktik und sieben Aufgaben aus der Fachmathematik. Die Gleichwertigkeit wird sowohl nach dem Schwierigkeitsgrad wie auch dem Zeitaufwand bei der Bearbeitung angestrebt. Die Studierenden müssen davon fünf Aufgaben bearbeiten. Mindestens eine dieser Aufgaben muss aus dem Bereich Didaktik sein, es können aber auch alle drei Didaktikaufgaben bearbeitet werden. Nach dem didaktischen Prinzip der Unterscheidung von Lern- und Leistungsphasen (Bohl, 2005, S. 44ff) sind die Aufgaben in der Klausur im Vergleich zu den Arbeitsanregungen der Arbeitstreffen eher „langweilig“, d.h. aufgrund einer Leistungsbewertung weniger offen gestellt.

Eine Hürde, die Prüfungsform mit Auswahlmöglichkeiten zu übernehmen, kann sein, dass bei der Erstellung der Klausur ein Mehraufwand an Arbeit entstehen könnte. Durch die Auswahlmöglichkeit der Studierenden, müssen zum einen mehr Aufgaben pro Klausur gestellt werden, zum anderen müssen die Aufgabenstellungen das gleiche Niveau haben. Diese Hürde stellt

⁴ Die Prüfungsform Klausur ist in der derzeit geltenden Prüfungsordnung für die Lehramtsstudiengänge an den Pädagogischen Hochschulen in Baden-Württemberg für die Zwischenprüfung vorgeschrieben. Aber auch wenn dies nicht so wäre, würde diese Prüfungsform aufgrund der Anzahl der Studierenden voraussichtlich beibehalten werden.

nur auf den ersten Blick Probleme dar. Mit etwas Übung lässt sich die ungefähre Gleichwertigkeit der Aufgabenstellungen problemlos erreichen. Zudem ist ein großer Vorteil der Auswahl – neben der Übertragung von Verantwortung auf die Studierenden – die Vermeidung von Diskussionen des Tenors „Diese Aufgabe wurde aber in der Veranstaltung nicht behandelt.“ oder „Die Formulierung konnte man nicht verstehen.“

Selbstverständlich kann aus rechtlichen Gründen in der Leistungsfeststellung keine Kommunikation mit anderen Personen zugelassen werden, weder real noch mit Hilfe von mobilen Telefonen oder Internetzugang. Deshalb ist – leider – die Verwendung von Notebooks, TabletPCs oder Smartphones in der Klausur nicht erlaubt. Als Kompromiss wird aber den Studierenden gestattet, dass sie sämtliche Unterlagen, Mitschriften, Bücher usw. sowie alle Arten von Taschenrechnern in der 90-minütigen Klausur verwenden dürfen.

Bei den Lösungen spielen die Erklärungen und Begründungen des Lösungswegs eine so zentrale Rolle, dass z. B. rein rechnerische Lösungen mit korrektem Ergebnis, die ohne jegliche Erläuterung und Begründung des Vorgehens abgegeben werden, als „nicht ausreichend“ und deshalb mit der Note 4,5 bewertet werden. Andererseits können Lösungen mit unbedeutenden Rechenfehlern, die zwar von der Studierenden erkannt und begründet werden, aber z. B. aus Zeitgründen nicht mehr verbessert werden können, durchaus eine gute Bewertung bekommen.⁵

Die Bewertung der Lösungen erfolgt nicht mit Punkten, sondern jede Aufgabe wird mit einer Schulnote zwischen 1 und 6 mit „halben“ Zwischennoten bewertet. Die meisten – jedoch durchaus nicht alle – der gestellten Aufgaben besitzen mehrere verschiedene Lösungswege; deshalb kann hier auch nicht mit den üblichen Musterlösungen und dem Punktabzug für Fehler gearbeitet werden. Dabei können jedoch die vielfältigen Möglichkeiten der Erläuterungen und Begründungen für das Vorgehen angemessen berücksichtigt werden, da es hierfür keine wirklichen Musterlösungen geben kann. Es ist jedoch möglich, die Qualität der Lösung einschließlich der Erläuterungen mit den Kategorien der Schulnoten (sehr gut, gut, befriedigend, ...) einschließlich der „halben“ Zwischennoten zu bewerten. Damit die

⁵ Selbstverständlich ist diese Regelung den Studierenden im Voraus bekannt und auf sie wird auch noch mal in der Klausur hingewiesen.

Bewertung möglichst reliabel ist, korrigiert eine Person (Dozent oder Tutor) immer alle Bearbeitungen einer bestimmten Aufgabe. Zweifelsfälle werden in der Bewertergruppe und insbesondere mit dem verantwortlichen Dozenten direkt durchgesprochen und entschieden. Die Endnote ergibt sich dann aus dem arithmetischen Mittel der Noten der Aufgaben. Nicht bearbeitete Aufgaben werden mit einer 6,0 in die Bewertung aufgenommen.

Laut Prüfungsordnung soll den Studierenden die Möglichkeit der Einsicht in die Klausur zu Beginn des darauf folgenden Semesters gegeben werden. Um die Gründe für die Bewertung transparenter zu machen, werden bei der Korrektur direkt inhaltliche Anmerkungen in den Lösungen gemacht, mit deren Hilfe sich dann die Gründe für die Note rekonstruieren lassen.

3.5 Weitere Unterstützungsangebote

Unterstützungsangebot über das Plenum und die Arbeitstreffen hinaus sind fester Bestandteil der Konzeption. Gemäß der sozialen Eingebundenheit und der Kompetenzwahrnehmung der Selbstbestimmungstheorie haben die Studierenden immer die Möglichkeit Unterstützung zu erhalten und zu geben. Im Folgenden werden die weiteren Unterstützungsangebote dargestellt.

3.5.1 *Tools für semiautomatisches Assessment*

Neben dem Einsatz und der Bereitstellung von Software wie Tabellenkalkulation oder Dynamischen Geometriesystemen werden weitere im Projekt entwickelte Tools in das Veranstaltungskonzept integriert. Diese Tools sind in erster Linie zum Üben von Aufgaben oder Themengebieten mit der Unterstützung des semi-automatischem Assessments. Bislang wurden die folgenden Werkzeuge entwickelt:

ColProof-M

ColProof-M (Herding, Zimmermann & Bescherer, im Druck) ist ein Werkzeug, mit dem Studierende das Führen geometrischer Beweise nach der Methode des 2-Spalten-Beweises erlernen können. Der Lernende kann Aussagen per Drag & Drop in seinen Beweis einfügen und Begründungen für die Aussagen auswählen. Eine mit Cinderella realisierte interaktive Abbildung hilft dabei, die Aussagen nachzuvollziehen. Entsprechend dem didaktischen Design Pattern FEEDBACK ON DEMAND kann der Lernende bei Bedarf seine Lösung automatisiert auf Fehler überprüfen lassen. Kommt er in seiner Lösung nicht weiter, kann er sich Tipps einholen, wie

im Pattern HINT ON DEMAND (Zimmermann, Herding & Bescherer, im Druck) beschrieben.

ComIn-M

ComIn-M (Rebholz & Zimmermann, 2011a; Rebholz & Zimmermann, 2011b) ist ein webbasiertes Lernwerkzeug, mit dem Studierende das Führen von Beweisen mittels Vollständiger Induktion üben können. Aus einer Liste von verfügbaren Aufgaben wählt der Lernende zunächst die gewünschte Aufgabe aus. Es öffnet sich ein elektronisches Arbeitsblatt, in dem die für den Beweis notwendigen Schritte eingegeben werden müssen. Jeder Teilschritt des Beweises kann nach Bedarf überprüft werden. Als Ergebnis der Überprüfung erhält der Lernende umgehend eine automatische Rückmeldung zu seinem aktuellen Lösungsweg. Reichen die automatischen Rückmeldungen nicht aus, kann der Lernende zusätzlich Tipps anfordern oder eine persönliche Rückmeldung zum individuellen Lösungsweg durch die Dozentin anfragen.

MoveIt-M

MoveIt-M (Fest, 2011; Fest & Zimmermann, 2009) ist eine interaktive Lernsoftware zum besseren Verständnis von Kongruenzabbildungen. Das Tool ist in unterschiedlichen, aber aufeinander aufbauenden Laboren zum selbstständigen erforschenden Lernen mathematischer Gesetzmäßigkeiten unterteilt. Eine Einführung in die Benutzung des Tools macht den Studierenden den Einstieg leichter, Lösungs- und Bedienungshilfen unterstützen im Umgang, ein Glossar hilft bei Verständnisproblemen und eine direkte Verbindung zu den Tutoren und Professoren ermöglichen eine Lernkontrolle und einen sichtbaren Lernerfolg.

SetSails!

SetSails! (Zimmermann & Herding, 2010) ist eine eLearning-Anwendung, mit der Studierende lernen, Terme in der Mengenalgebra oder der booleschen Algebra umzuformen. In verschiedenen Aufgaben geht es jeweils darum, die Korrektheit einer Äquivalenz zu beweisen. In jedem Schritt wählt man zunächst die Regel, die man anwenden möchte (z. B. Kommutativgesetz) und anschließend den Term, der sich durch Anwendung dieser Regel ergeben soll. Um die Lösung nicht zu einfach zu machen, stehen bei den Auswahlmöglichkeiten auch Distraktoren zur Auswahl. Zudem können auch eigene Terme eingegeben werden. Eine Besonderheit von SetSails! ist, dass der Lernende nicht gezwungen ist, die Gleichung „von links nach

rechts umzuformen“, sondern kann auch umgekehrt vorgehen. Es ist sogar möglich, Umformungen parallel in beide Richtungen vorzunehmen. Dabei stehen dem Benutzer zahlreiche Hilfestellungen zur Verfügung. Zum einen wird die durch einen Term definierte Menge in einem Venn-Diagramm hervorgehoben. Zum anderen können in einem virtuellen Buch die Studierenden die Gesetze der Mengenalgebra oder der boolschen Algebra nachschlagen. Während des Lösungsvorgangs kann sich der Lernende jederzeit Feedback zu seinen bisherigen Umformungsschritten einholen. So kann er seine Fehler selbst entdecken (z. B. falsche Umformungen oder falsche Begründungen), aber auch unnötig komplizierte Lösungen erkennen (z. B. bei Zirkelschlüssen).

Squiggle-M

Squiggle-M (Hiob-Viertler & Fest, 2010) ist eine offene Experimentierumgebung für das Lernfeld von Funktionen und deren Eigenschaften. Hier werden in verschiedenen Laboren der Funktionsbegriff mit den Begriffsbausteinen Totalität und Eindeutigkeit sowie angrenzende Funktionseigenschaften wie Surjektivität, Injektivität und Bijektivität selbstständig erarbeitet.

Studierende verwenden die Tools selbstbestimmt, d.h. diese werden ihnen zum Üben und Entdecken und ohne Verpflichtung zur Verfügung gestellt. Sie können sich die Werkzeuge herunterladen oder online jederzeit verwenden. Zwei wesentliche Funktionen sind dabei, dass sie sich einerseits per E-Mail Feedback vom Dozenten oder vom Tutor einholen können, wenn die Hilfestellungen der Software selbst nicht ausreichen. Technisch geschieht dies über das Analyse-Programm SMALA (SAiL-M Architecture for Learning Analytics; Libbrecht, Müller, Rebholz, Thüs & Herding, im Druck). SMALA ist eine Architektur zur Aufzeichnung von Lösungswegen und Lernaktivitäten, die es den Lehrenden ermöglicht, die individuellen Lernprozesse der Studierenden nachzuvollziehen und zu analysieren. Wird eine Frage an den Tutor oder den Dozenten geschickt, kann der aktuelle Lösungsweg dem Tutor mit übermittelt werden. Dieser kann den bisherigen Lösungsweg einsehen und dann entsprechend Feedback geben (im Sinne des semi-automatischen Assessments; vgl. 3.1). Darüber hinaus können Statistiken über die Gesamtgruppe eingeholt werden, um sich einen Überblick über den Leistungsstand der Gruppe zu machen.

3.5.2 Offener Matheraum

Der offene Matheraum (Zimmermann, 2012) stellt ein niederschwelliges Unterstützungsangebot dar, welches in erster Linie während der ersten beiden Semester als mögliche Anlaufstelle bei Hilfe und Unterstützung gesehen werden kann. Es handelt sich um eine Lernumgebung zum Mathematiklernen, die vor allem den Studienanfängern die Woche über einen Raum bietet, in dem sie Lernen und Arbeiten und dabei Unterstützung erhalten können, wenn und wann sie diese benötigen. Die Hilfen und Unterstützung werden dabei meistens von einer Tutorin oder einem Tutor gegeben. Die Autonomie der Studierenden und das selbstständige Erarbeiten bzw. Wiederholen mathematischer Themen steht dabei immer im Vordergrund. Die Tutorin / der Tutor hat während des jeweiligen Lehrprozesses nur eine betreuende und stützende Funktion inne, er / sie greift also nur bei Bedarf ein. Wird tutorielle Unterstützung benötigt, muss dieser darauf achten, dass möglichst eine hohe Eigenaktivität seitens der Lernenden gewährleistet wird.

3.5.3 Virtuelle Unterstützung

Eine weitere Anlaufstelle bei Fragen und Problemen ist das Forum im E-Learning-Bereich der Mathematikveranstaltung. Studierenden wird von Anfang an deutlich gemacht, dass es sehr effizient ist, wenn dort Fragen gestellt und besprochen werden: So werden nicht immer wieder dieselben Fragen dem Dozenten oder den Tutoren gestellt, sondern Fragen werden einmal gestellt, gemeinsam besprochen und alle Teilnehmer wissen bescheid. Studierende werden im Laufe des Semesters in konkreten Problemsituationen auch immer wieder auf das Forum hingewiesen („Stellen Sie diese Frage doch im Forum! Daran sind bestimmt auch Ihre Kommilitonen interessiert!“).

Als Dozent muss man bei Fragen im Forum den richtigen Moment abpassen, an dem man sich einbringt: Wenn man zu früh antwortet, dann entsteht keine Diskussion unter den Studierenden. Bringt man sich zu spät oder gar nicht ein, werden die Studierenden verunsichert. Hierfür muss man als Dozent ein entsprechendes Gespür entwickeln.

4 Zusammenfassung / Fazit

Die Konzeption wird an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg seit dem Wintersemester 2008 für das Lehramt für Realschulen umgesetzt und wurde seitdem immer weiterentwickelt und optimiert. Mittlerweile werden einzelne Bausteine des Konzeptes auch in Lehramtsstudiengängen an den Pädagogischen Hochschulen in Heidelberg und Karlsruhe umgesetzt. Darüber hinaus wurde in zahlreichen Workshops für Tutorinnen und Tutoren sowie Dozentinnen und Dozenten die entwickelte Konzeption an unterschiedliche Hochschulen in Deutschland weitergegeben.

Begleitend wird die Konzeption hinsichtlich der mathematischen Selbstwirksamkeitserwartung und der Lernmotivation der Studierenden evaluiert. Erste Zwischenergebnisse wurden auf der GDM 2011 vorgestellt (Zimmermann & Bescherer, 2011b). Auch der Einsatz und zur Nutzung der computerbasierten Werkzeuge wurden auf diversen Tagungen Evaluationsergebnisse veröffentlicht (Zimmermann & Bescherer, 2012). Bis zum Ende des Projektes im Februar 2012 werden weitere Ergebnisse veröffentlicht.

5 Literatur

- Aebli, H. (1983). *Zwölf Grundformen des Lehrens*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Bandura, A. (2001). Modeling. In: *The Corsini Encyclopedia of Psychology and Behavioral Science* (S. 967-968). New York: John Wiley & Sons.
- Bandura, A. (1998) *Self-efficacy. The Exercise of Control*. W. H. Freeman and Company, New York.
- Bescherer, C., Herding, D., Kortenkamp, U., Müller, W. & Zimmermann, M. (2011). E-Learning Tools with Intelligent Assessment and Feedback for Mathematics Study. In S. Graf, F. Lin, Kinshuk & R. McGreal (Hrsg.), *Intelligent and Adaptive Learning Systems – Technology Enhanced Support for Learners and Teachers* (S. 151-163). Hershey: IGI Global.
- Bescherer, C., Kortenkamp, U., Müller, W. & Spannagel, C. (2010). Intelligent Computer-Aided Assessment in Mathematics Classrooms. In A. McDougall, J. Murnane, A. Jones & N. Reynolds (Hrsg.), *Researching IT in Education: Theory, Practice and Future Directions* (S. 200-205). London, New York: Routledge.
- Bescherer, C. & Spannagel, C. (2009). Design Patterns for the Use of Technology in Introductory Mathematics Tutorials. In A. Tatnall & A. Jones (Hrsg.), *Education and Technology for a Better World* (S. 427-435). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

- Beutelsbacher, A., Danckwerts, R. (2005): *Neuorientierung der universitären Lehrerbildung im Fach Mathematik für das gymnasiale Lehramt*. www.uni-siegen.de/fb6/didaktik/mitarbeiter/rainer-danckwerts/publikationen/tk_projekt_programmatische_vorstudie_lang.pdf (Stand 18.09.2011).
- Bohl, T. (2005). *Prüfen und Bewerten im Offenen Unterricht*. 3. Auflage, Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Hrsg.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (S. 453–494). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2002). An overview of self-determination theory: an organismic-dialectical perspective. In: E. L. Deci & R. M. Ryan (Hrsg.), *Handbook of self-determination research* (S. 3–33). Rochester, NY: The University of Rochester Press.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- Fest, A. (2011). Eine interaktive Lernumgebung zur Entwicklung des Funktionsbegriffs. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2011*. Münster: WTM.
- Fest, A. & Zimmermann, M. (2009). Werkzeuge für das individuelle Lernen in Mathematik. In U. Kortenkamp; H.-G. Weigand, T. Weth (Hrsg.), *Tagungsband der Arbeitstagungen des Arbeitskreises Mathematikunterricht und Informatik 2009*. Hildesheim, Franzbecker.
- Fischer, M., Werner, J., Strübig, T. & Spannagel, C (2012). YouTube-Vorlesungen: Der Mathematikprofessor zum Zurückspulen. In M. Zimmermann, C. Bescherer & C. Spannagel (Hrsg.), *Mathematik lehren in der Hochschule – Didaktische Innovationen für Vorkurse, Übungen und Vorlesungen*. Hildesheim: Franzbecker.
- Herding, D., Zimmermann, M. & Bescherer, C. (im Druck). A Learning Tool for Mathematical Proofs with On-Demand Hints. In Y. Mor et al. (Hrsg.), *Practical Design Patterns for Teaching and Learning with Technology*. SensePublishers.
- Hiob-Viertler, M. & Fest, A. (2010). Entwicklung einer mathematischen Experimentierumgebung im Bereich der Zuordnungen und Funktionen. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2010*. Münster: WTM.
- Holton, D. (2001): *The Teaching and Learning of Mathematics at University Level: An ICMI Study*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic.
- KMK – Kultusministerkonferenz (2003). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für den mittleren Schulabschluss*. Bonn: Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der BRD.
- Lage, M. J., Platt, G. J. & Treglia, M. (2000). Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive learning environment. *The Journal of Economic Education*, 31(1), 30-43.
- Libbrecht, P., Müller, W., Rebholz, S., Thüs, H. & Herding, D. (im Druck). SMALA: An Architecture for Logging and Analyzing E-Learning Events. In *Proceedings of the*

- IEEE International Workshop on Multimedia Technologies for E-Learning (MTEL) 2011.*
- Lyman, F. (1981). The responsive classroom discussion. In A. S. Anderson (Hrsg.), *Mainstreaming Digest*. College Park, MD: University of Maryland College of Education.
- NCTM - National Council of Teachers of Mathematics (2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. Reston, Virginia, USA.
- OECD (2003): The PISA Assessment Framework. Mathematics, Reading, Science and Problem Solving Knowledge and Skills. Paris: OECD.
- Rebholz, S. & Zimmermann, M. (2011a). Applying Computer-Aided Intelligent Assessment in the Context of Mathematical Induction. In Proceedings of the 4th International eLBA Science Conference. Rostock: Fraunhofer Verlag.
- Rebholz, S. & Zimmermann, M. (2011b). Einsatz und Erfahrungen von Intelligentem Assessment bei Beweisen mit vollständiger Induktion. In *Proceedings der DeLFI 2011*. Bonn: GI.
- Spannagel, C. (2011). Das aktive Plenum in Mathematikvorlesungen. In L. Berger, C. Spannagel & J. Grzega (Hrsg.), *Lernen durch Lehren im Fokus. Berichte von LdL-Einsteigern und LdL-Experten* (S. 97-104). Berlin: epubli.
- Van Gog, T., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (2008). Effects of studying sequences of process-oriented and product-oriented worked examples on troubleshooting transfer efficiency. *Learning and Instruction*, 18, 211–222.
- Winter, H (1991). Entdeckendes Lernen im Mathematikunterricht : Einblicke in die Ideengeschichte und ihre Bedeutung für die Pädagogik. Braunschweig: Vieweg.
- Wood, H. & Wood, D. (1999). Help seeking, learning and contingent tutoring. *Computers & Education*, 33, 153-169
- Zimmermann, M. (2012). Der offene Matheraum als Baustein für aktives Mathematiklernen. In M. Zimmermann, C. Bescherer & C. Spannagel (Hrsg.), *Mathematik lehren in der Hochschule – Didaktische Innovationen für Vorkurse, Übungen und Vorlesungen*. Hildesheim: Franzbecker.
- Zimmermann, M. & Bescherer, C. (2012). Zur Hochschullehre in der Lehramtsausbildung. In *Beiträge zum Mathematikunterricht 2012*. Münster: WTM.
- Zimmermann, M. & Bescherer, C. (2011a). Lernen für 2030 – Möglichkeiten in der Lehramtsausbildung. In U. Kortenkamp; H.-G. Wgand; T. Weth (Hrsg.), *Tagungsband der Arbeitstagungen des Arbeitskreis Mathematikunterricht und Informatik (AKMUI) 2010*. Hildesheim, Franzbecker.
- Zimmermann, M. & Bescherer, C. (2011b). (Um-)Wege in der Ausbildung von Mathematiklehrkräften. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2011*. Münster: WTM.
- Zimmermann, M. & Herding, D. (2010). Entwicklung einer computergestützten Lernumgebung für bidirektionale Umformungen in der Mengenalgebra. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2010*. Münster: WTM.

- Zimmermann, M., Herding, D. & Bescherer, C. (im Druck). Pattern: Hint on Demand. In Y. Mor et al. (Hrsg.), *Practical Design Patterns for Teaching and Learning with Technology*. SensePublishers.
- Zimmermann, M.; Jokiahho, A.; May, B. (2011). Vorlesungsaufzeichnungen in der Mathematik - Nutzung und Auswirkungen auf die Studienleistung. In *DELFI 2011: Tagungsband der 9. e-Learning Fachtagung Informatik, September 2011, Gesellschaft für Informatik*, S. 163-171.